

TUMSAT-OACIS Repository - Tokyo University of Marine Science and Technology (東京海洋大学)

バルク超電導同期機における界磁磁束の安定性に関する研究

著者	綿崎 将大
学位名	博士(工学)
学位授与機関	東京海洋大学
学位授与年度	2020
学位授与番号	12614博甲第585号
URL	http://id.nii.ac.jp/1342/00002075/

博士学位論文内容要旨
Abstract

専攻 Major	応用環境システム学専攻	氏名 Name	綿崎 将大
論文題目 Title	バルク超電導同期機における界磁磁束の安定性に関する研究		

永久磁石を大きく上回る磁束密度を示す超電導磁石を回転機の界磁極に応用することにより、機器の小型化や高トルク化が可能である。高温超電導バルク体（以後、バルク体）はバルク体内部に磁束を捕捉することで擬似的な永久磁石のように振る舞う。よって、超電導コイルとは異なり、磁力を発生するための励磁電源が不要であり、また超電導線材と比較して熱容量が大きいことから、クエンチによる焼損のリスクを小さくすることが可能である。我々はバルク体を界磁極とした同期回転機（以後、同期機）の開発を進めてきた。バルク体を同期機へ応用するための課題として、交流磁場による捕捉磁束密度の減衰が挙げられる。これは、交流磁界中にバルク体を配置した場合、磁場変動に伴う熱損失によってバルク体の温度が上昇することで捕捉磁束密度が減衰する現象であり、交流損失と呼ばれる。しかし、交流損失に関する論文が多数存在する中、多くの実験条件は交流磁界を発生するコイルの付近にバルク体を配置したものであり、実際に同期機の界磁極として配置されたバルク体における交流損失の報告は少ない。本研究は、同期機の界磁極に適用されたバルク体が安定的な磁束の供給を行うことができることを明らかにすることを目的として、アキシアルギャップ型とラジアルギャップ型の2つの超電導同期機を用いた負荷試験におけるバルク界磁極の捕捉磁束密度の変化について調査を行った。

はじめに、アキシアルギャップ型の小型超電導同期回転機（以下、同期機）を発電機として駆動した場合における、バルク体の捕捉磁束密度に対する影響について調査した。同機器機は8つのバルク体を回転界磁として使用しており、界磁極を挟むように渦巻型銅コイルが電気子として配置されている。超電導回転機に必須となる冷却には、液体冷媒を用いた熱サイフォン冷却システムを採用した。バルク体の着磁は回転機内部の電機子コイルを利用した複数回のパルス磁場着磁法を用いる。同期機の発電試験は60、120、240 min⁻¹の3つの回転速度によって行われた。結果、240 min⁻¹の回転速度で行った発電試験でのみ、バルク体の大幅な温度上昇および捕捉磁束密度の減衰を確認した。ただし、温度上昇の主な原因はバルク体における交流損失による発熱ではなく、電機子から受ける輻射熱の割合が高いと結論付けた。また、低回転数の発電試験において影響が見られなかった結果から、バルク体および電機子コイルに対する十分な冷却能力を用意することによって、バルク体の捕捉磁束密度を同期機の界磁極として用いることができると結論した。

次に、より大きな出力を備えたラジアルギャップ型の超電導同期回転機（以後、同期機）の負荷試験におけるバルク体の捕捉磁束密度の変化を調査した。負荷試験では、インバータによる電気子電流の制御によって磁気的な負荷を加える。回転子は4極の界磁極を備え、各極に15個のバルク体が集成バルク界磁極として搭載されている。バルク体の冷却は、より冷却能力を向上させた熱サイフォン冷却システムを採用した。バルク体の着磁は超電導コイルを用いた定常磁場着磁法を採用した。電機子は無酸素銅巻線とステーターコアで構成されている。実験では、様々な回転数と負荷率を伴った負荷試験と定速回転・最大負荷における長時間連続負荷試験の2種類を実施した。結果、バルク体の温度及び捕捉磁束密度は、回転数と負荷率の変化、すなわち電気子電流の周波数と大きさに影響されることはなく、長時間の回転機の運転において出力を安定的に保持できることを実験的に確認した。

最後に、ラジアルギャップ型の超電導同期回転機（以下、同期機）の冷却システムを停止した場合における回転機内部の超電導バルク磁石の温度上昇と回転機の出力変化について、回転機が停止して

いる状態とインバータによる磁気的な負荷を加えた状態の2通りで調査を行った。回転を伴わない実験では、3 Tの静磁場によって着磁された35 K~40 K程度のバルク体の温度上昇と捕捉磁束密度の減衰傾向を観測した。結果、バルク体の温度上昇の傾向は銅の比熱に似た曲線を示した。これは、バルク体の伝導冷却に多く使用される無酸素銅材料の熱容量が、バルク体の温度上昇速度を決定する大きな要因となることを確認した。同期機の運転中に冷却システムを停止した実験では、安全のため1 Tの静磁場にて着磁された。実験開始直後37 Kであったバルク体の温度は、60分の時間経過とともに60 Kに上昇した。この温度上昇速度は、回転を伴わない実験と同様であり、回転運転に伴う電機子の交流磁場はバルク体の温度上昇に影響しないことを明らかとした。また、冷却システムの停止からバルク体の捕捉磁束密度の減衰開始まで時間的猶予があり、減衰中の磁場分布に顕著な歪みが見られないことから、クエンチなどに対する特別な対策は不要であることを確認した。

以上の研究成果より、バルク体の捕捉磁束密度は回転機の界磁極として安定的に機能することを実験的に明らかとした。

[作成要領]

- ・文字はMS明朝とし、英字はTimes New Romanとする。
- ・本文の文字サイズは10.5ポイントとする。
- ・1行文字数、1頁行数は本設定の通りとし、変更しないこと。
- ・左横書きで、和文の場合は2,000字程度、英文の場合は1,200語程度とすること。
- ・記述にあたっては、本作成要領及び記載の「◇ここから記述してください。」は削除すること。

[Making Points]

- ・You should use the font of “MS明朝” for Japanese, and “Times New Romans” for English.
- ・In a body, the size of letter should be 10.5 points.
- ・In your writing, don't change the settings such as number of characters of one-line and so on.
- ・Write from left to right, and in about 2,000 letters in Japanese, 1,200 words in English.
- ・Delete this Making Points and (Please write from here.) when you start writing.